

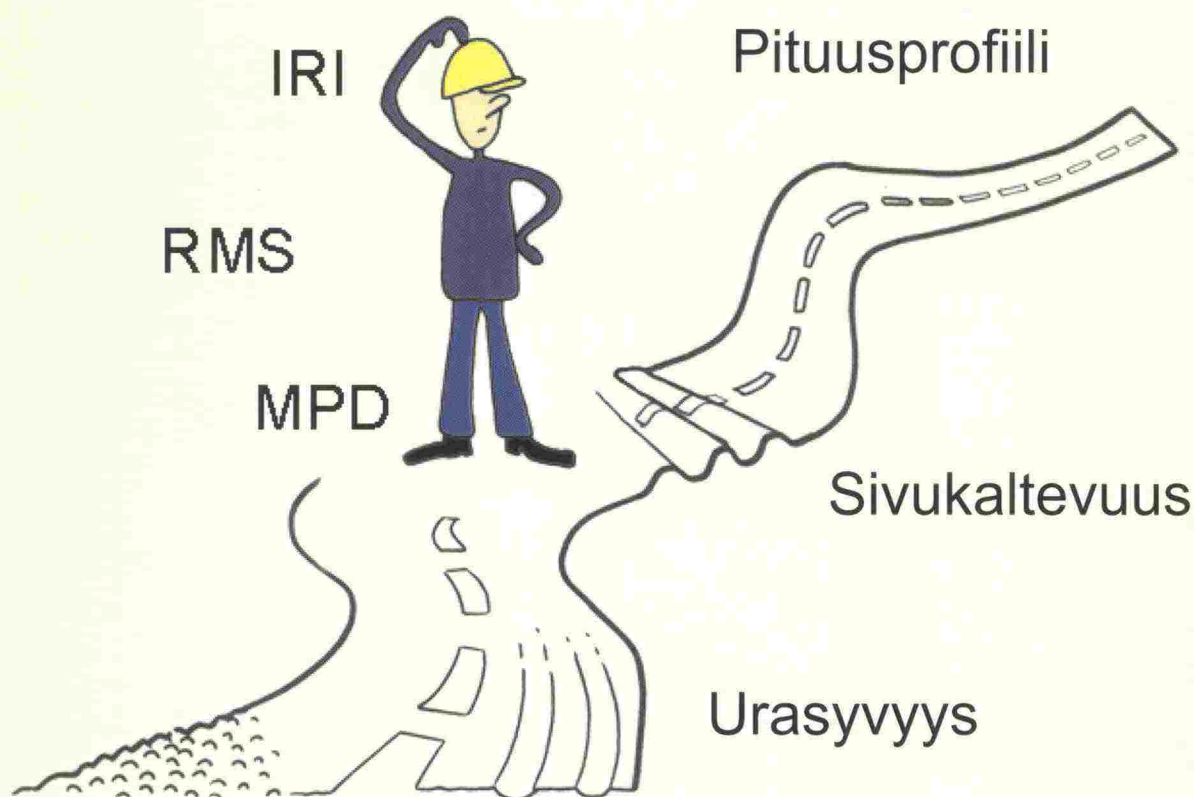


SCANDIACONSULT



TIEHALLINTO

# Päällystetyn tien tasaisuuden mittauksesta



Sinulle, joka työskentelet teiden kunnossapidon ja päällystysurakoiden parissa

# Päällystetyn tien tasaisuuden mittauksesta

**Yhteistyö Scandiaconsultin ja PEAB:n välillä  
SBUF:n rahoittama**



*Projektipäällikkö: Peter Ekdahl, SCC  
Suunnittelija: Eva-Maria Persson, SCC*

**Scandiaconsult Sverige AB, RST Sweden**  
Malmö 7.3.2003

**Suomenkielinen versio**  
Helsinki 22.8.2003



## Sisällysluettelo

<b>SUOMENKIELISEN VERSION ALKUSANAT .....</b>	<b>4</b>
<b>ALKUSANAT .....</b>	<b>5</b>
<b>1 PÄÄLLYSTETYN TIEN TASAISUUDEN MITTAUS.....</b>	<b>7</b>
1.1 MILLÄ TAVALLA, MISSÄ JA MIKSI? .....	7
1.2 MITTAAMME TIEN PINNAN KUNTOA – MITÄ HAVAITSEMME? .....	8
1.3 MIKÄ ON NYKYISEN TIEN ENNUSTETTU TASAISUUS TOIMENPITEEN JÄLKEEN?.....	9
1.4 TIENPINNAN TASAISUUSTIETOJEN KÄYTTÖ LAADUNVALVONNASSA .....	11
1.5 TIETOJEN TARKKUUS JA TULOSTUSVÄLI .....	12
<b>2 PITUUSSUUNTAINEN TASAISUUS.....</b>	<b>13</b>
2.1 MITÄ ON IRI? .....	13
2.2 MITEN HUOMIOIDAAN TIEN TASAISUUS TOIMENPITEEN VALINNASSA? .....	15
2.3 MIKÄ ON RMS:N JA IRI:N VÄLINEN ERO? .....	16
2.4 PITUUSPROFIILIT.....	18
<b>3 URASYVYYS .....</b>	<b>19</b>
<b>4 SIVUKALTEVUUS.....</b>	<b>21</b>
<b>5 PÄÄLLYSTEEN KARKEUS.....</b>	<b>22</b>

## Suomenkielisen version alkusanat

Tämä käsikirja on käännetty Scandiaconsultin, PEAB:n ja SBUF:n julkaisemasta käsikirjasta 'Handbok i Vägytemått ... en hjälp på vägen'. Käsikirja on vuodelta 2003. Käsikirja kuvaa tien pinnan tasaisuusmittausten tunnuslukuja pääosin Scandiaconsult AB / RST Swedenin kokemuksiin perustuen Ruotsin olosuhteissa.

Kirja sopii parhaiten uuden päällysteen laadunvalvonnasta kiinnostuneille asiantuntijoille, mutta soveltuvin osin myös muille tiestön kunnan tunnusluvuista kiinnostuneille asiantuntijoille. Kirjassa ei käsitellä tasaisuusmittausten käyttöä tienpidon ohjauksessa.

Käsikirja perustuu pääosin ruotsalaiseen materiaaliin, mutta sitä on täydennetty soveltuvin osin suomalaisen tietämyksen perusteella. Niissä tilanteissa, joissa on sekaantumisen vaara, on esitetty selkeästi, mistä maasta tulokset ovat peräisin.

Raportissa käsitellään vain tasaisuuden tunnuslukuja, eli IRI:ä, urasyvyyttä, sivukaltevuutta ja karkeutta. Raportin ulkopuolelle jäävät siis mm. päällystevauriot ja taipumamittauksista laskettavat tunnusluvut.

Raportin on kääntänyt T:mi LT Lars Edelman. Käännöksen ovat tarkastaneet Juha Äijö 100Gen Oy:stä ja Seppo Järvinen SCC Viatek Oy:stä. Lopullisen version Suomen oloihin sopivin lisäyksiin ovat tuottaneet Vesa Männistö Inframan Oy:stä ja Kalervo Mattila SCC Viatek Oy:stä. Työn on tilannut Tiehallinnon palvelujen suunnittelu.

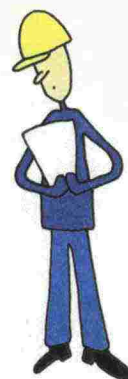
Raportin oikeudet ovat Scandiaconsult AB:lla. Lisätietoja raportin sisällöstä antavat Kalervo Mattila SCC Viatek Oy:stä ja Tuomas Toivonen Tiehallinnosta.

Helsingissä, elokuu 2003



## Alkusanat

Valtaosa tämän päivän päällystystöistä on vanhojen päällysteiden uusimista. Noin 150 miljoonaa euroa Tiehallinnon vuotuisesta rahoituksesta menee joka vuosi ylläpito- ja korvausinvestointeihin, joiden yhteydessä uutta päällystettä levitetään noin 7 prosentille päällystetystä tieverkosta.



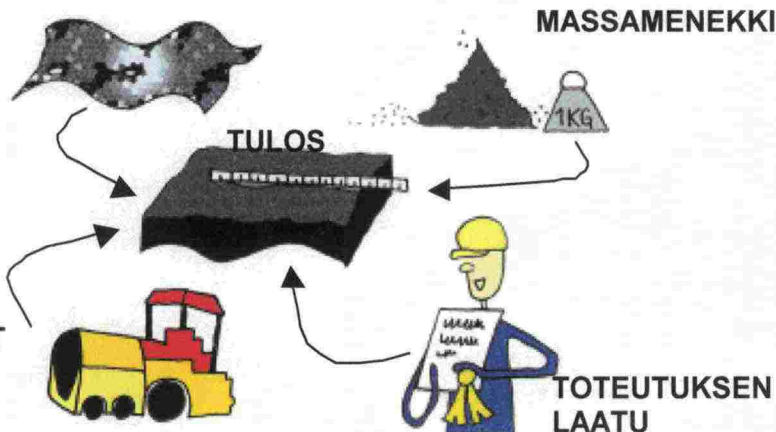
Päällystystoimenpiteen valinta on riippuvainen tien pinnan nykyisestä kunnosta, jolle asetetaan vaatimuksia uuden päällysteen pituus- ja poikkisuuntaiseen tasaisuuteen. Nämä vaatimukset ilmaistaan muun muassa termeillä **IRI** ja **Urasyyvyys**. IRI ja urasyyvyys ovat mittoja, joita välillä koetaan vaikeatajuisina ja abstraktisina, mutta joilla samalla on useita etuja verrattuina vanhoihin perinteellisiin mittoihin. Esim. IRI on standardisoitu mitta, jota käytetään ympäri maailmaa.

Näiden ”uusien” tienpintojen tasaisuutta kuvaavien mittojen huomattavimpia etuja on niiden objektiivisuus sekä mahdollisuus verrata eri mittauksia keskenään ja eri aikoina. IRI-arvon kasvua voidaan tutkia ja seurata mm. kokonaisvastuu-urakassa. Harmillisia yllätyksiä laaduntarkastuksen yhteydessä voidaan välttää tasaisuuden mittauksella ja tulosten analysoinnilla ennen toimenpidettä. Tasaisuuden mittauksen avulla ennen toimenpidettä urakoitsija ja tilaaja voivat tutkia tien ongelmakohtia ja harkita sopivaa toimenpidettä ja sille asetettavaa vaatimustasoa.

Päällystysurakoissa laadun saaminen oikeaan hintaan on sekä tilaajan että urakoitsijan intressissä. ***Mikäli tarkoitus on käyttää tienpinnan tasaisuuden mittoja työn laadunvalvon- nassa on tärkeä että asetetut vaatimukset ja raja-arvot huomioivat olemassa olevat edellytykset.*** Toteutuneen kunnossapitotoimenpiteen tulos on riippuvainen useasta tekijästä, joista urakoitsijan pätevyys ja taitavuus on vain yksi. Muita tekijöitä ovat nykyisen tien kuntotaso, menetelmän valinta sekä massamenekki:

**TIENPINNAN  
NYKYINEN  
KUNTOTASO**

**MENETELMÄT**



Tämä käsikirja pyrkii antamaan selkeän ja käytännöllisen kuvauksen tavallisimmista tienpinnan tasaisuuden mitoista sekä niiden merkityksestä tienpintojen kuntoarvioinnissa. Käsikirja on tarkoitettu kaikille, jotka työssään joutuvat tekemisiin päällysteiden kunnon ja erityisesti sen tasaisuuden kanssa. Tavoite on yksinkertaisella ja pedagogisella tavalla selittää eri mitat ja niiden käyttöalueet, sekä vastata yleisimpiin kysymyksiin tienpinnan tasaisuuden mittauksista.

Käsikirjasta on olemassa myös paljon laajempi versio: *Tienpinnan tasaisuusmittauskäsikirja "Fakta ja Teoria"*, missä laskentamenetelmät, historiikki ja muu teoria esitellään yksityiskohtaisemmin.

# 1 Päällystetyn tien tasaisuuden mittaus

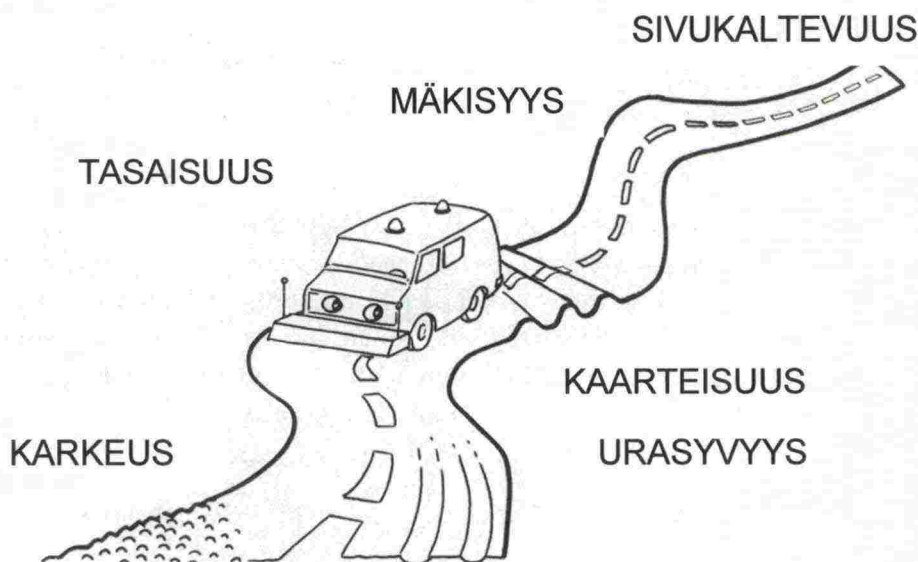
## 1.1 Millä tavalla, missä ja miksi?

Tienpintojen tasaisuuden mittauksilla voidaan arvioida tien kuntoa ja tienkäyttäjän ajomukavuutta sekä nykyisellä tieverkolla että uusilla ja korjatuilla teillä. Aikaisemmin tätä arviointia tehtiin yksinkertaisten apuvälineiden avulla tai kokemuseräisellä subjektiivisella ”asiantuntemuksella”. Tänä päivänä tehdään tarkkoja objektiivisia mittauksia, joissa hyödynnetään kansainvälisesti standardisoituja tunnuslukuja. Tämä mahdollistaa mittauksen keskinäisen vertailun sekä mittadatan aikasarjojen keruun ja analysoinnin.



Tienpinnan tasaisuuden mittauksia on Suomessa tehty vuodesta 1991 lähtien. Vuosittain mitataan koko päätieverkko ja noin kolmasosa alemmasta tieverkosta eli noin 30000 km teitä. Tiet mitataan pääasiallisesti yhteen suuntaan ja yhdellä ajokaistalla. Tasaisuuden mittauksia on käytetty myös päällystystoimenpiteiden laadunvalvonnassa vuodesta 1995 alkaen.

Nykyään pääosa mittauksista tehdään ajoneuvoihin sijoitetuilla järjestelmillä, jotka tuottavat yksityiskohtaisen kuvan tienpinnasta kehittyneen mekaniikan, optiikan ja lasertekniikan avulla. Mittauksen tuloksina saadaan mittaustietoja, jotka objektiivisesti kuvaavat tienpinnan kuntoa, geometriaa ja ajomukavuutta. Kuvassa 1.1 on havainnollistettu tienpinnan tasaisuuden mittauksen periaatetta:

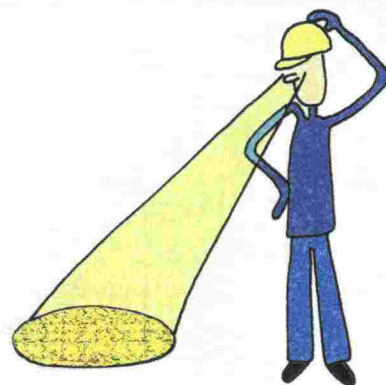


Kuva 1.1: Tienpinnan tasaisuuden mittaus ja tärkeimmät tietolajit (SCC, 2000)



## 1.2 Mittaamme tien pinnan kuntoa – mitä havaitsemme?

Tienpinnan tasaisuuden mittausten eräs käyttöalue on teiden tai tieosien kunnan nykytilan arviointi ja analyysi. Mittaustietoja voidaan käyttää kokonaisvaltaiseen tieverkon kattavaan analyysiin tai yksittäisen kohteen yksityiskohtaiseen tarkasteluun. Tämän tyyppisissä analyyseissa käytetään pääasiassa kolmea tien pinnan tasaisuuden mitta-



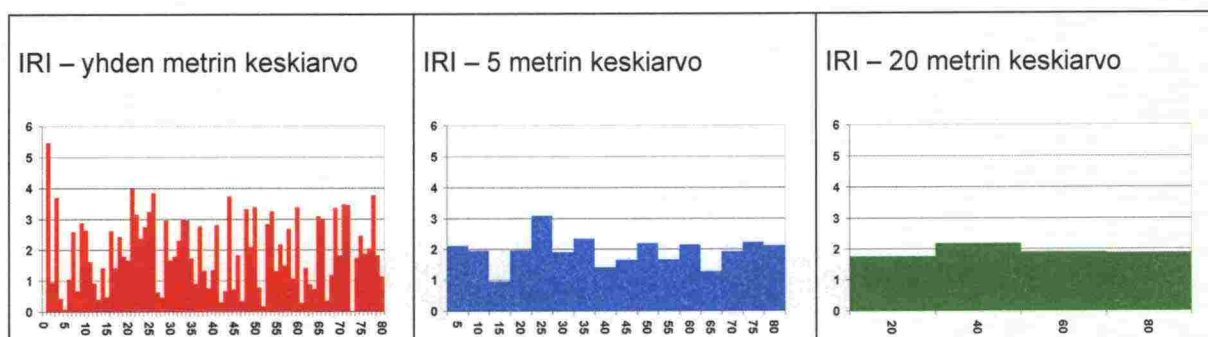
- |                              |  |
|------------------------------|--|
| ✓ Pituussuuntainen tasaisuus | <b>IRI</b> (International Roughness Index)   |
| ✓ Poikkisuuntainen tasaisuus | <b>Urasyvyys</b> (lasketaan lanka-algoritmilla)                                    |
| ✓ Poikkisuuntainen kaltevuus | <b>Sivukaltevuus</b> (regressio- tai reunapisteiden mukaan laskettu sivukaltevuus) |

Tunnuslukujen tarkempi kuvaus esitetään kappaleissa 2 – 5.

Edellä olevien tietojen lisäksi mittauksista voidaan määrittää mm.:

- ✓ Tien pituusprofiili
- ✓ RMS-arvot
- ✓ Päällysteen karkeus
- ✓ Pituussuuntainen kaltevuus (mäkisyys)
- ✓ XY-koordinaatit

IRI on tien pituussuuntaisen tasaisuuden mitta, joka liittyy vahvasti tien käyttäjän kokemaan ajomukavuuteen. **IRI ei siis kuvaa tien geometriaa.** Muut tunnusluvut lasketaan suoraan mittausjärjestelmän antaman yksityiskohtaisen tiegeometrian perusteella. IRI:n osalta käytetään teoreettista laskentamallia ja mittausjärjestelmän antamia arvoja. Perinteisesti tulostusväli on 100 metriä (keskiarvo 100 m matkalta) mutta tulostusväli on vapaasti valittavissa (kuva 1.2). [Ruotsissa yleisimmät tulostusvälit ovat 20 ja 400 m].



Kuva 1.2: IRI:n keskiarvon laskenta eripituisille tulostusväleille.



Mittaustiedot koetaan usein abstraktisina ja niitä on vaikea todentaa tienpinnalta ilman mitausvälineitä. Tämä on jonkin verran ongelmallista mittaustietojen analysoinnin ja tulosten soveltamisen kannalta. Ennen kuin ryhdyimme selostamaan tienpinnan tasaisuuden eri mittoja, on sen takia ehkä paikallaan korostaa uuden tekniikan ja perinteisempien arviointimethodien välisiä eroja (kuva 1.3).

#### Perinteiset menetelmät



**Tienpinnan ulkonäkö**  
**Pistokokeet**  
**Tietojen hyödyntäminen hankalaa**  
**Sisältää subjektiivisuutta**

#### Uudet menetelmät



**Tienpinnan laatu**  
**Jatkuva mittaus**  
**Jatkossakin hyödynnettäviä arvoja**  
**Objektiivinen mittausmenetelmä**

**Kuva 1.3:** Perinteiset ja uudet menetelmät

Uuteen tekniikkaan perustuvalla mittauksella on monta etua, koska se kuvaa tienpinnan kuntoa ja latua tyydyttävämmällä ja kattavammalla tavalla kuin perinteinen mittaus. Tärkeimmät tasaisuuden tunnusluvut kuvaavat mm. seuraavia asioita:

- ✓ IRI: Liikennöitävyys, ajomukavuus ja liikenneturvallisuus, tien kuntotaso ja tien rakenteen vaurioituminen.
- ✓ Urasyvyys: Liikennöitävyys, liikenneturvallisuus, tien kuntotaso, tien kulumisen ja kuormituksesta johtuvat painumiset (deformaatiot).

### 1.3 Mikä on nykyisen tien ennustettu tasaisuus toimenpiteen jälkeen?

Tienpinnan tasaisuusmittaustekniikan suuri etu on sen antama mahdollisuus tutkia nykyisten päällysteiden tasaisuutta ja ulkonäköä. Tiehallinto hankkii vuosittain tuhansien tiekilometrien mittaustiedot sekä päätieverkolta että alemmalta tieverkolta (alempi tieverkko mitataan joka toinen tai joka kolmas vuosi), jolloin päällystetoimenpiteiden suunnittelijoilla on käytössään suuri määrä tietoa. Toinen vaihtoehto olisi tehdä aina ylimääräinen mittaus ennen toimenpidettä.

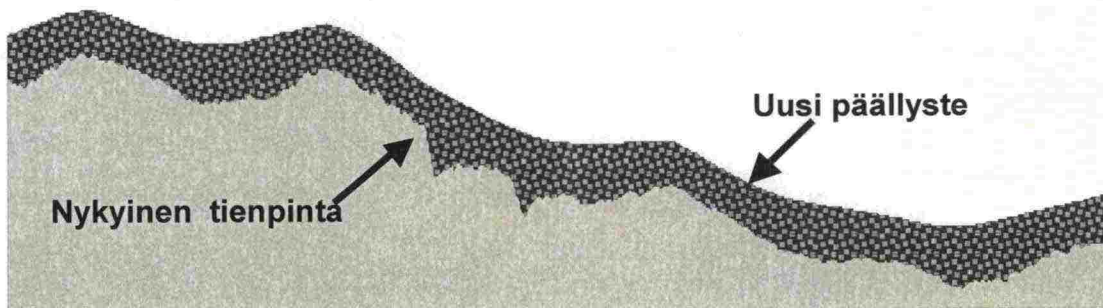


Riippumatta siitä, saadaanko mitaustiedot Tiehallinnon kuntotietorekisteristä tai ylimääräisen mittauksen kautta, on tärkeää että mitaustietojen pohjalta tehdään perusteellinen analyysi.

si nykyisen tienpinnan tasaisuudesta ennen kuin päätetään vaatimuksista ja toimenpiteistä. Nykyisen tien mittaustietojen analyysi voi vastata esim. seuraaviin kysymyksiin:

- ✓ **Mitkä kohdat tulevat olemaan vaikeimmin korjattavissa?**
- ✓ **Mikä menetelmä näyttää tarkoituksenmukaisimmalta? Mitä erikoistoimenpiteitä vaaditaan? Mikä on todennäköinen massamenekki?**
- ✓ **Mikä on tien ennustettu tasaisuus toimenpiteen jälkeen? Ovatko asetetut vaatimukset realistisia? Onnistuuko tekijä niiden toteuttamisessa?**

Hyvä keino arvioida toimenpiteen jälkeistä tasaisuutta on käyttää tietoja nykyisestä pituusprofiilista sekä päällysteen levittämisen tietokonesimulointia. Juuri tähän tarkoitukseen on kehitetty tietokoneperusteiset työkalut. Niiden avulla voidaan yksityiskohtaisesti tutkia erityyppisiä ratkaisuja ja piste pisteeltä niiden vaikutusta nykyiseen pintaan. Simuloidun profiilin perusteella on myös mahdollista laskea tasaisuusmittoja kuten IRI ja RMS (RMS = Root Mean Square, katso tarkemmin kappale 2.3).



**Kuva 1.4:** Nykyisen päällysteen mittaus ja päällystystoimenpiteen vaikutuksen simulointi

Jopa ilman päällystämisen tietokonesimulointia voidaan RMS-arvojen avulla saada hyvä arvio siitä, mitkä epätasaisuudet tulevat aiheuttamaan ongelmia ja herättämään keskustelua. On siis suositeltavaa että RMS-arvoja tutkitaan aina ennen toimenpidettä, jonka laatuvaatimuksena on pituussuuntainen tasaisuus.

Nykyisen tien tasaisuutta ei voida parantaa kuinka paljon tahansa kevyillä toimenpiteillä. Voi esim. olla vaikeaa tasoittaa pidempää painumaa perinteisillä menetelmillä. SCC:n suorittama tutkimus (SCC 2001) viidestä eri päällystyskohteesta osoittaa, että IRI oli toimenpiteen jälkeen noin 30 % alkuperäisestä IRI:stä + vakio:

$$[IRI_{\text{jälkeen}} \approx IRI_{\text{ennen}} * 0,3 + 0,7]$$

***Yhtälön ilmaisema yhteys on kuitenkin karkea yleistys ja riippuu toimenpiteen tyypistä ja epätasaisuuden laadusta!***



## 1.4 Tienpinnan tasaisuustietojen käyttö laadunvalvonnassa

Tiestön kuntomittauksia käytetään usein päällysteurakoiden laadunvalvonnassa. Vaatimukset on esitetty PANK:n (Päällysteasioiden neuvottelukunta ry.) normeissa (Ruotsissa ATB Väg:ssä). Laadunvalvontamittauksia tehdään sekä uusille teille että uusille päällysteille. Laadunvalvonnassa on tärkeää muistaa uusien ja perinteisten mittausmenetelmien (esim. oikolauta) väliset erot (Taulukko 1.1).



**Taulukko 1.1:** Perinteisten ja uusien mittausmenetelmien vertailu.

Oikolaudan avulla mitattu tai vastaava	Uudet mittausmenetelmät
Kunto havaittavissa tienpinnalla	Vaikeasti havaittavissa tienpinnalla
Mitattu yksittäisistä kohdista	Arvot keskiarvoja Monimutkaiset laskenta-algoritmit (IRI, RMS)
Pistokokeet – sattumanvaraista	Jatkuva mittaus – ei sattumanvaraista
Selkeät geometriset yksiköt (mm)	Geometriset yksiköt ja jotkut tunnusluvut (IRI, RMS) abstrakteja

On myös tärkeä määrittää sopiva ajankohta kontrollimittauksille. Jos työn valmistumisesta kuluu liian pitkä aika laadunvalvontamittaukseen, urakan ulkopuoliset tekijät saattavat vaikuttaa tuloksiin. Kontrolli on periaatteessa tehtävä mahdollisimman pian valmistumisen jälkeen (Suomessa viimeistään 4 viikon kuluessa työn valmistumisesta).

### Uuden tien rakentaminen

Uutta tietä rakennettaessa vaaditaan pinnan tasaisuutta useammalta päällystekerrokselta. Ylimmän kulutuskerroksen hyvä tasaisuus edellyttää alapuolisten kerrosten hyvää sekä pituus- että poikkisuuntaista tasaisuutta. On hyvä muistaa, että vaikka alapuolella oleva pinta on täysin tasainen, niin uuden päällysteen pinta ei tule olemaan täysin tasainen, johtuen tuotantotekniikasta ja asfaltin ominaisuudesta. Näin ollen uuden päällysteen levittäminen johtaa pituussuuntaisten epätasaisuuksien vähenemiseen riippuen toimenpiteestä ja kohteen alemmien kerrosten tasaisuudesta.

### Ylläpito

Kuten aiemmin on kuvattu, on tien pinnan toimenpiteen jälkeinen tasaisuus riippuvainen tien kunnosta ennen toimenpidettä, päällystemenetelmästä, massamenekistä ja työn laadusta:

$$\text{Tasaisuus tp:n jälkeen} = \text{Nykykunto} + \text{Menetelmä} + \text{Massamenekki} + \text{Työn laatu}$$

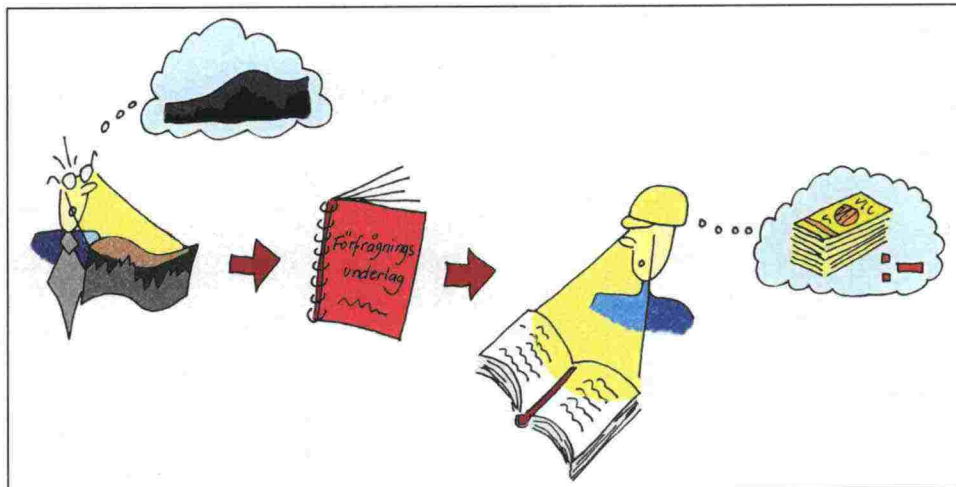
Kun käydään keskustelua tasaisuusvaatimusten asettamisesta, on tärkeä tehdä ero erilaisten urakoiden hankintamenettelyjen välillä. Esimerkiksi kokonaisurakassa urakoitsijalla on mahdollisuus vaikuttaa tiettyihin asioihin jo tarjousvaiheessa. Vastaavaa mahdollisuutta ei ole perinteisessä rakennusurakassa (ks. taulukko 1.2).

**Taulukko 1.2:** Urakoitsijan vaikutusmahdollisuudet eri urakkamuodoissa

Urakkamuoto	Massamenekki	Työtapa	Työn laatu
Kokonaisurakka	X	X	X
Perinteinen rakennusurakka			X

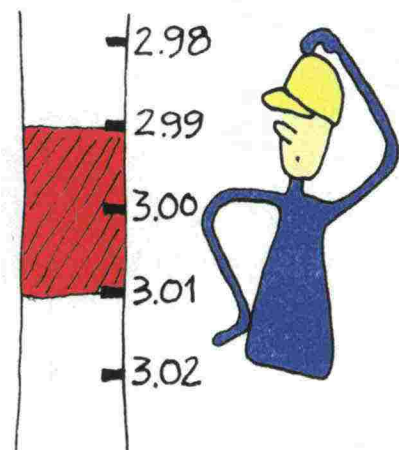
Kokonaisurakan tarjousvaiheessa tarjouksen tekijällä tulee olla käytössä yksityiskohtaiset tiedot nykyisestä päällysteestä, esim. päällystyshistoriasta, pituusprofiilista ja RMS-arvoista. Tämä antaa hänelle mahdollisuuden optimoida tarjouksensa ja esittää sellaisia menetelmiä ja massamääriä, jotka täyttävät asetetut vaatimukset.

Perinteisten rakennusurakoiden hankinnoissa tarjouspyyntöasiakirjat ohjaavat täysin tarjouksen tekijää. Koska ainoa asia, johon urakoitsija voi vaikuttaa, on päällystystyön laatu, kohdistuu asetettuihin tasaisuuskriteereihin tiukkoja vaatimuksia. Vastuu siitä, että urakoitsijalle annetaan riittävä mahdollisuus saavuttaa asetetut tasaisuusvaatimukset, on tilaajalla. Tässä yhteydessä on tarkoituksenmukaista analysoida olemassa olevaa tien kuntotietoa perusteellisesti. Myös tarjouksen tekijä voi tutkia laatuvaatimusten kohtuullisuutta jos yksityiskohtainen tasaisuusdata on liitetty tarjouspyyntöasiakirjoihin.

**Kuva 1.5:** Hankinnan eri vaiheita

## 1.5 Tietojen tarkkuus ja tulostusväli

Päällystystöiden laadunvalvontamittaukset suoritetaan Ruotsissa Tielaitoksen menetelmäkuvauksen VVMB:111 mukaisesti. Tämä tarkoittaa että kohde mitataan kolme kertaa ja mittausten mediaaniarvo lasketaan. Täten ääriarvot ja vastaavat hylätään ja virheellisten arvojen käytön riski minimoidaan. [Suomessa sovelletaan PANK-ohjeita PANK-5207-5209. Mittaus tehdään kullakin kohteella vain kerran, sillä käytettävien laitteiden mittausten toistettavuus on erinomainen.]



Keskusteltaessa tarkkuustasosta on tärkeää erottaa mittausjärjestelmän tarkkuus sekä mahdollisuus toistaa mittaustulos tarkasti (toistettavuus).



*Laitteiston tarkkuus on 0,1 mm. Ero toistuvissa mittauksissa on tavallisesti <0,1 mm/m IRI-arvoille, <0,2 mm maksimi urasyvyydelle ja <0,1% sivukaltevuudelle.*

Keskiarvojen tulostusväli on normaalisti 100 metriä, mutta laadunvalvonnassa käytetään myös 20 ja 5 metrin keskiarvoja [Ruotsissa 400 ja 20 metriä]. Pidemmän tulostusvälin käyttö saattaa johtaa siihen, että korkeat arvot saattavat hävitä keskiarvon laskennassa, eikä lyhyitä epätasaisuuksia välttämättä enää nähdä tuloksista (katso kuvan 1.2 esittämät IRI:n eripituisten välien keskiarvojen kuvaajat). Jos halutaan yksityiskohtaisempaa kuvaa tien kunnosta, voidaan keskiarvojen tulostusväliä lyhentää 10 metriin tai 5 metriin. Tällöin ei luonnollisestikaan voida asettaa samoja rajavaatimuksia kuin 100 metrin keskiarvon tulostusvälille, vaan vaatimukset on mukautettava hieman väljemmiksi.

## 2 Pituussuuntainen tasaisuus

### 2.1 Mitä on IRI?

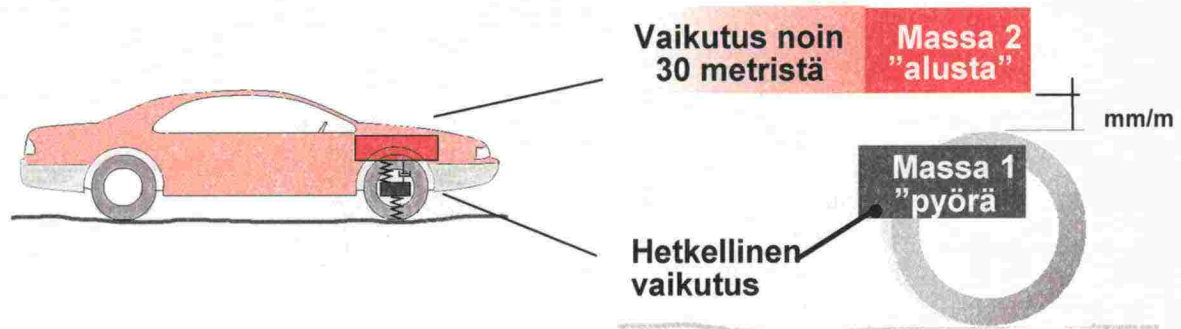
IRI (*International Roughness Index*) on tunnusluku, joka kuvaa auton reagointia tien pinnan epätasaisuuteen. Näin ollen IRI kuvaa suhteellisen hyvin tien käyttäjän kokemaa ajomukavuutta. IRI lasketaan tien pituusprofiilin perusteella (katso edempänä tässä luvussa) siten, että kaikki tienpinnan epätasaisuudet (töyssy, painuma jne.) lasketaan yhteen. Erilaisten epätasaisuuksien määrä ja aallonpituudet vaikuttavat tien käyttäjään eri tavalla, minkä IRI:n laskentamalli pyrkii ottamaan huomioon.



*IRI kuvaa siten tienpinnan epätasaisuuden vaikutusta sen yli kulkevaan ajoneuvoon ja tienkäyttäjään.*

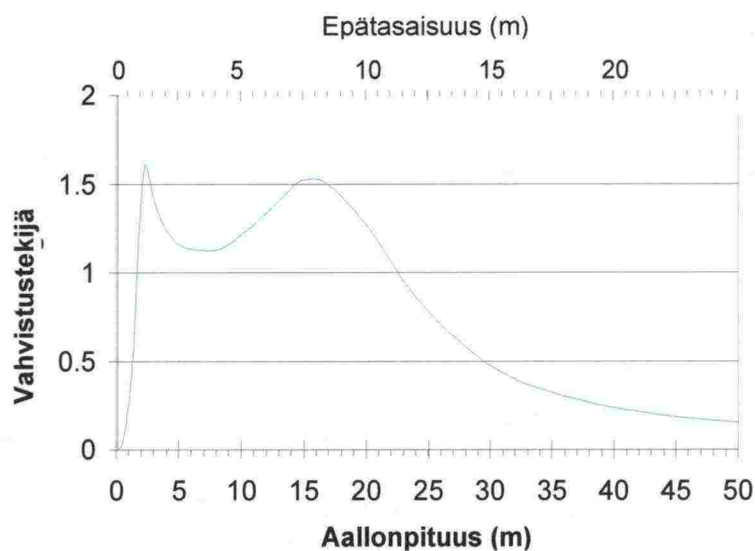
IRI:n matemaattinen malli on alun perin laadittu Maailmanpankin kehitysmahojelmien puitteissa ja se on sama koko maailmassa [Sayers et al, 1986]. Mallin periaate perustuu simulointiin, jossa neljäsosa autosta kulkee tienpinnan yli nopeudella 80 km/h (niin sanottu neljännesautomalli, 'Quarter-car simulator').

Neljännesautomallissa pyörä ja alustan massa liikkuvat eri tavalla riippuen tien epätasaisuuksista ja ne ovat yhdistettyinä toisiinsa jousilla ja vaimentimilla. Lyhyet epätasaisuudet saavat pääasiassa pyörän liikkeelle ja pidemmät epätasaisuudet vaikuttavat alustan liikkeisiin. IRI:n arvo saadaan, hieman yksinkertaistettuna, laskemalla alustan ja pyörän massojen suhteellisia liikkeitä (ks. kuva 2.1).



Kuva 2.1: Neljännesautomalli [Vapaasti Gillespien mukaan, 1992]

IRI-malli vastaa suuressa määrin tienkäyttäjän kokemaa ajomukavuutta. Tällä on tutkimusten mukaan selvä korrelaatio liikenneturvallisuuteen ja tien kuntoon. Ajomukavuuden huomiointi vaatii, että IRI:n laskennassa vahvistetaan tietyn tyyppisten epätasaisuuksien vaikutusta ja vaimennetaan toisten vaikutusta [Dahlstedt, 2001]. Jos kuvataan jokaista tien pinnan epätasaisuutta aallonpituutena (voidaan katsoa, että tienpinnan epätasaisuus on noin puoli aallonpituutta), voidaan IRI-mallia kaavamaisesti kuvata kuvan 2.2 mukaisella tavalla.



Kuva 2.2: IRI-mallin vahvistava ja vaimentava vaikutus eri aallonpituuksiin (epätasaisuuksiin).

Koska tiettyä IRI-arvoa ei ole helppoa mitata tien pinnalta muilla menetelmillä, kuten oikolaudalla tai vastaavalla, on tärkeää että mittausarvoilla on korkea luotettavuus, ja että ne ovat sekä tilaajan että urakoitsijan hyväksymät. IRI-arvon määritelmä koetaan monesti vaikeaksi ja vielä hankalampi on etukäteen "arvata" mitattavan päällysteen IRI-arvoja. Taulukossa 2.1 on esimerkki IRI:n luokittelusta. [Taulukossa 2.2 on vastaavat arvot suomalaisiin tutkimuksiin perustuen (Tiehallinto, 2000).]



**Taulukko 2.1:** Tasaisuuden luokittelu tien käyttäjän näkökulmasta [RST Sweden, haastattelut ja kokemukset].

IRI-arvo (mm/m)	Kokemus
<1.5	Tuskin havaittavia epätasaisuuksia. Matkustaminen mukavaa.
1.5-3.0	Pienehköjä epätasaisuuksia, jotka voivat kuitenkin olla selvästi havaittavissa suurella nopeudella ajettaessa.
3.0-4.0	Mukava matkustus suurella nopeudella on mahdotonta.
4.0-6.0	Matkustus saattaa tuntua turvattomalta. Äkkinäiset heilahtelut yleisiä. Pintavaurioita esiintyy.
>6.0	Ajonopeus alle 50 km/h. Vakavat pintavauriot yleisiä (halkeamia, reikiä, verkkohalkeamia).

**Taulukko 2.2:** Tasaisuuden luokittelu tien käyttäjän näkökulmasta [Tielaitos, 1992 ja Tiehallinto, 2000].

IRI-arvo (mm/m)	Luokka	Kokemus
< 1.3	Erittäin hyvä	Tasainen tie. Miellyttävä ajaa.
1.4 - 2.6	Hyvä	Lähes tasainen tie. Satunnaisia epätasaisuuksia, jotka eivät juurikaan häiritse ajomukavuutta.
2.7 - 4.1	Tyydyttävä	Pääasiassa tasainen tie, satunnaisia epätasaisuuksia on silloin tällöin varottava. Sallittua nopeutta on helppo ylläpitää.
4.2 - 5.5	Huono	Tie jonkin verran epätasainen. Ajonopeutta joudutaan toisinaan laskemaan ja ajolinjoja on joskus muutettava. Matkustaminen jonkin verran epämukavaa.
> 5.6	Erittäin huono	Tie epätasainen. Ajonopeutta joudutaan usein laskemaan ja ajolinjoja muuttamaan. Matkustaminen epämukavaa.

## 2.2 Miten huomioidaan tien tasaisuus toimenpiteen valinnassa?

Jos laadunvalvontamittauksissa on saatu tasaisuudeltaan hyläytyjä osuuksia, kysytään usein ”Mitä olemme tehneet väärin?”. Välillä urakoitsijasta saattaa tuntua myös siltä, että vaadittuja IRI-arvoja on mahdotonta saavuttaa ja urakoitsijan suhtautuminen laadunvalvontamittauksiin on usein seuraava: ”Mitä tahansa teemme tulos kuitenkin hylätään”. Mutta useimmiten on mahdollista suorittaa ylläpitotoimenpide hyvin tuloksin vaikka toimenpiteen lähtötilanteena on epätasainen päällyste.



IRI-arvoja analysoitaessa on tärkeintä muistaa, että erityyppiset epätasaisuudet käsitellään IRI:n laskennassa eri tavalla - joitakin epätasaisuuksia korostetaan ja toisia vaimennetaan (ks. kuva 2.2). Voidaan tehdä seuraavia yleistyksiä:

- ✓ Yksittäiset epätasaisuudet, jotka ovat lyhyempiä kuin 0,5 metriä, saattavat hävitä jo IRI:n 20 metrin keskiarvossa, vaikka ne tuntuvatkin tiellä ajettaessa.
- ✓ Epätasaisuudet 1 metristä 10 metriin vaikuttavat merkittävästi IRI-arvoon.

Merkille pantavaa on siis, että IRI huomioi paljon pidemmät epätasaisuudet kuin esim. oikolaudalla tai vastaavalla olisi mahdollista havaita.

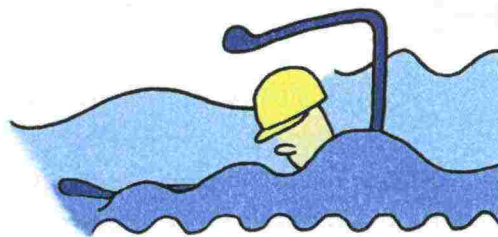
*Mikäli vanhalla päällysteellä on mitattu korkeita IRI-arvoja, saattavat paikalliset korjaukset tai jyrsinät olla tarpeen ongelmakohtien hoitamiseen. Jos tiellä sen sijaan on monta esim. 2-10 metristä epätasaisuutta ja matkanteko on "keinuvaa", voidaan epätasaisuutta vähentää merkittävästi levittämällä asfalttia siten, että tasaisuutta parannetaan pidemmällä välillä.*

Saumakohtien tai vastaavien kohdalla mitataan usein korkeita IRI-arvoja, mistä moni urakoitsija on huomauttanut. Yksittäiset kynnykset tai epätasaisuudet lyhyillä aallonpituuksilla näkyvät kuitenkin harvoin 100 metrin IRI-arvoissa. Sen sijaan useat aallonpituudet yhdessä suurentavat IRI:ä (ks. kuva 2.2).

Nykyään on mahdollista simuloida asfaltin levittämistä mitattuun pituusprofiiliin, ja siten voidaan ennakoida mahdollisuutta pienentää IRI:n arvoa eri asfaltointimenetelmillä. Useassa SCC:n tekemässä selvityksessä on käynyt ilmi että perinteinen asfaltointiurakoitsija tasaa tietä lyhyellä 1-4 metrin välillä. Pidempien painumien tasaamiseen vaaditaan tästä syystä erityisiä toimenpiteitä (paikallisesti muutettu kerrospaksuus, korjausmassat, jyrshintä tai jokin muu toimenpide).

### 2.3 Mikä on RMS:n ja IRI:n välinen ero?

IRI on siis eräänlainen mukavuuden mitta, missä eripituisten epätasaisuuksien (eri aallonpituus) yhteenlaskettu vaikutus ilmaistaan laskennallisena suurena, joka suhteellisen hyvin kuvaa tienkäyttäjän ajomukavuutta. Seurauksena tästä emme aina tiedä **minkä tyyppinen** painuma tai epätasaisuus on tietyn IRI-arvon takana. Tiedämme vain että tiellä joko on tai ei ole mukava ajaa.

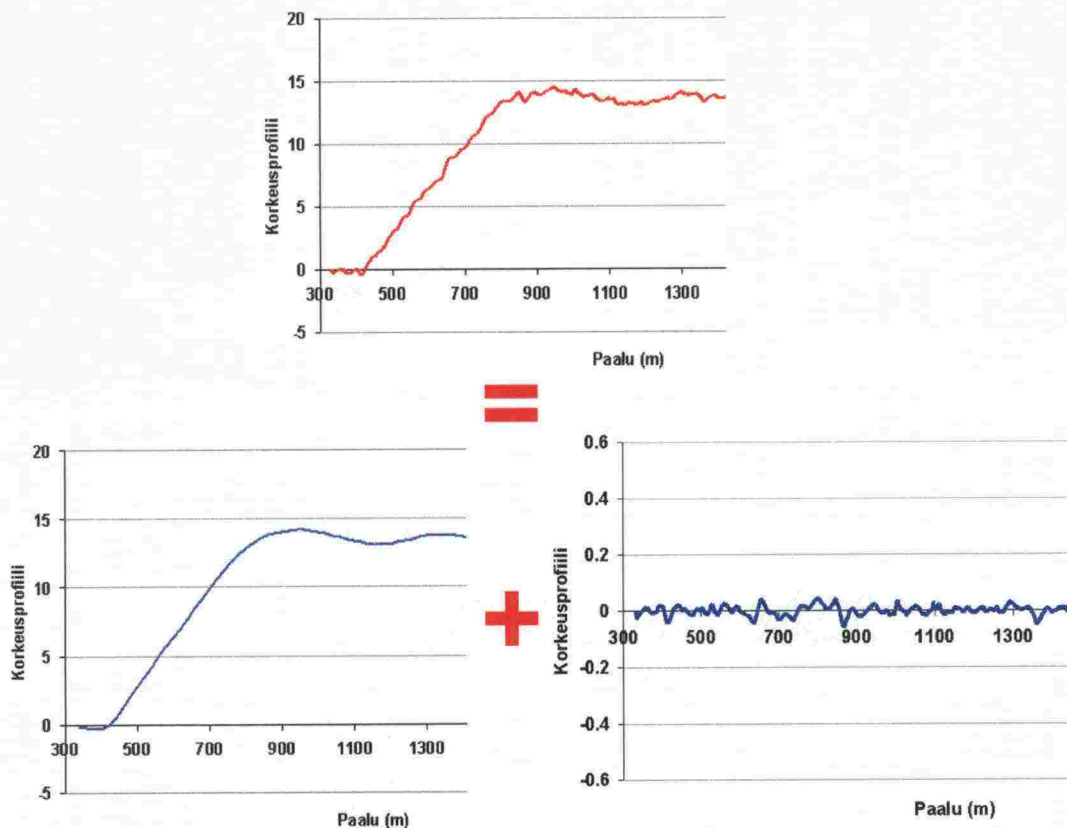


IRI-arvon merkityksen selventämiseksi ja selittämiseksi voidaan sen sijaan esittää mitkä aallonpituudet tieosalla merkitsevät eniten. Toisin sanoen aiheuttavatko pitkät painumat vai lyhyet epätasaisuudet (esim. saumat), vai jotkut muut epätasaisuudet korkean IRI-arvon? Tienpinnan epätasaisuuden aallonpituuksien kuvaamiseksi käytetään tunnuslukua **RMS (Root Mean Square)**, joka on tavallinen tilastollisen poikkeaman mitta. RMS on ISO-standardin mukainen tunnusluku, joka ilmaisee teiden tasaisuuden vaikutusta tienkäyttäjään vartaloon kohdistuvan värähtelyn muodossa.

RMS:ää voidaan siis käyttää myös muissa yhteyksissä eikä vain tasaisuusmittausten yhteydessä. Käytettäessä RMS:ää tienpinnan tasaisuuden mittana, tien pituusprofiili jaetaan eri aallonpituusväleihin.



Kuvassa 2.3 on esimerkki siitä millä tavalla tien pituusprofiili voidaan jakaa suhteessa sen sisältämiin aallonpituuksiin. Ylimmässä kuvassa oleva korkeusprofiili jaetaan alemmissa kuvissa esitettyihin pitkään ja lyhyeen komponenttiin.



**Kuva 2.3:** Pituusprofiili on jaettu (hyvin karkeasti) "pitkiin" ja "lyhyisiin" aallonpituuksiin.

RMS-arvon laskennassa tien pituusprofiili suodatetaan ensin suhteessa aallonpituuksiin ja sen jälkeen suoritetaan laskenta. Koska ihannepituusprofiili on täysin tasainen, jokaista nollasta poikkeavaa profiilin arvoa voidaan pitää poikkeamana. RMS saa siten erisuuruiset arvot riippuen laskettavasta aallonpituusalueesta, eikä RMS-arvoa, joka on laskettu 0,5 – 1 metrisille aallonpituuksille, voida verrata 3 – 10 metrisille aallonpituuksille laskettuun koska ne ovat eri suuruusluokkaa. Ruotsissa Tielaitos käyttää tällä hetkellä Taulukon 2.3 mukaisia aallonpituusvälejä. Suomessa aloitettiin vuonna 2003 Taulukon 2.4 mukaisten RMS-parametrien mittaaminen tieverkkotasolla.

**Taulukko 2.3:** RMS:n aallonpituusvälit

Aallonpituusalue	Epätasaisuuden pituus
0.5 – 1 m	0.25 – 0.5 m
1 – 3 m	0.5 – 1.5 m
3 – 10 m	1.5 – 5 m
10 – 30 m	5 – 15 m

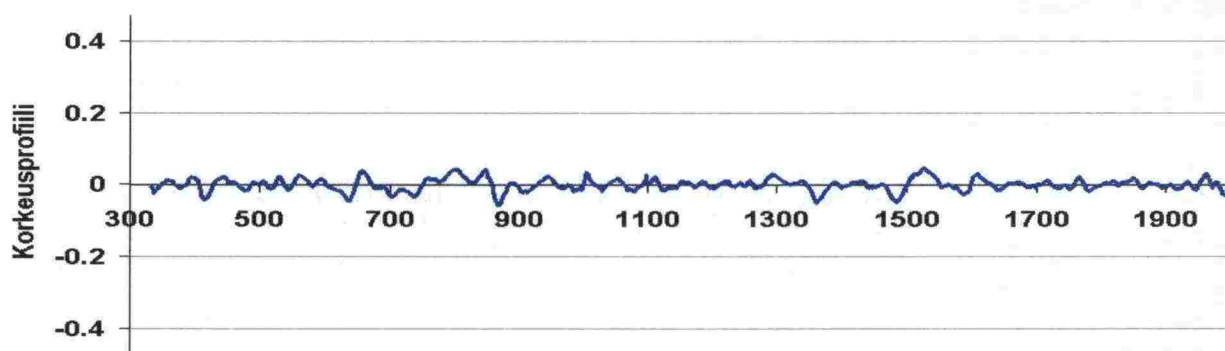
**Taulukko 2.4:** Suomen tieverkolta mitattavien RMS-parametrien aallonpituusvälit

Aallonpituusalue	Epätasaisuuden pituus
1 – 10 mm	0,5 – 5 mm
10 – 100 mm	5 – 50 mm
50 mm – 0,5 m	25 mm – 0,25 m
0,5 – 1 m	0,25 – 0,5 m
1 – 3 m	0,5 – 1,5 m
3 – 10 m	1,5 – 5 m
10 – 30 m	5 – 15 m
0,5 – 30 m	0,25 – 15 m

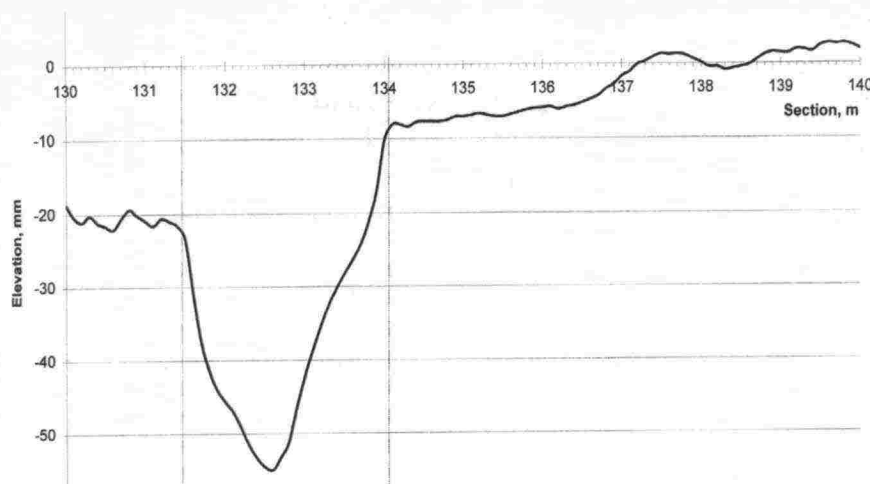
## 2.4 Pituusprofiilit

Sekä RMS- että IRI-arvot lasketaan tienpinnan mitatun pituusprofiilin perusteella ja mittaustiedot tallennetaan kymmenen senttimetrin välein. Reaaliaikaisesti laskenta tehdään kuitenkin kahden millimetrin välein.

Pituusprofiili suodatetaan yleensä niin, että se voidaan kuvata suhteellisena korkeusprofiilina, mistä on poistettu esimerkiksi kaikki 30 metriä ylittävät aallonpituudet. Tien korkeusaseman vaihtelu ja linjaus eivät siten vaikuta jälkeenpäin tehtäviin laskelmiin. Kuvassa 2.3 pituusprofiilia voidaan verrata jälkimmäiseen kuvaajaan, toisin sanoen siihen mitä jää jäljelle, kun tien tasausviivan vaikutus on eliminoitu (ks. kuva 2.4).

**Kuva 2.4:** Pituusprofiili, josta pitkät aallonpituudet on suodatettu pois.

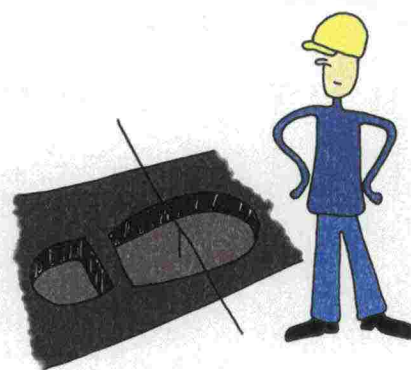
Pituusprofiilin avulla voidaan jälkeenpäin laskea IRI- ja RMS-arvot tai simuloida erilaisia asfaltointitoimenpiteitä. Pituusprofiilin avulla voidaan myös havaita paikallisia muodonmuutoksia tai painumia (Kuva 2.5).



**Kuva 2.5:** Painuma tien pituusprofiilissa (2,5 m pitkä ja noin 4 cm syvä)

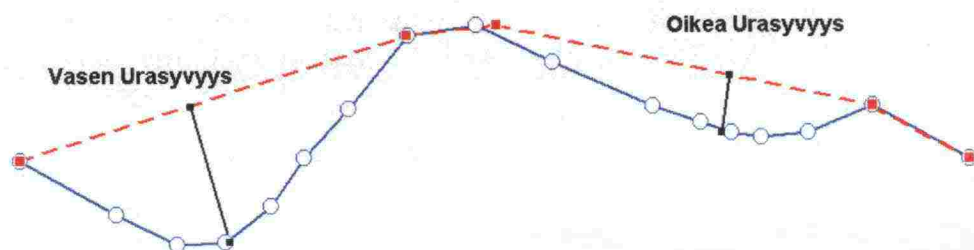
### 3 Urasyvyys

Tien poikkisuuntainen tasaisuus mitattiin ennen vanhaan oikolaudalla ja saatu arvo edusti tien kulumista. Koska 1970- ja 1980-lukujen ensisijainen ylläpito-ongelma oli peräisin nastarenkaiden aiheuttamasta urien muodostumisesta, ylläpitoresurssit jaettiin pääosin urasyvyyden perusteella.



Tänä päivänä urasyvyyttä käytetään vanhojen ja uusien päällysteiden kuntotietona. Koska klassinen kuluminen on vähentynyt voimakkaasti vähentyneen nastarengaskäytön ja kovempien päällystetyyppien ansiosta, puhutaan tänä päivänä urasyvyydestä myös erilaisten tien kantavuudesta riippuvien muodonmuutosten mitana. Nykyisin keskustellaan myös tien rakenteen kuntoa kuvaavista uusista mitoista [Öhberg, 2001].

Mittauksista lasketaan oikean ja vasemman uran syvyys. Näiden kahden maksimiarvoa sanotaan maksimiurasyvyudeksi ja se lasketaan tavallisesti 100 metrin tulostusvälin keskiarvona. IRI:stä poiketen urasyvyys ei ole kansainvälisesti standardisoitu mitta. Suomessa ja Ruotsissa käytettävä urasyvyyden tunnusluku lasketaan lankaperiaatteella kuvan 3.1 mukaisesti.



**Kuva 3.1:** Urasyvyys Vasen ja Oikea.



Uusien päällysteiden laadunvalvontamittausten menetelmäkuvauksen (PANK-5208) mukaan on käytettävä 17 laserkameraa, joiden yhteinen mittaussleveys on 3,2 metriä [tai viivalaser-menetelmää]. Tämä edellyttää periaatteessa että ajoratamerkintöjen väli on vähintään 3,5 metriä, jotteivät nämä häiritsisi mittauksia. Kapeakaistaisilla teillä voidaan myös (edellyttää selkeää mainintaa ohjeissa ja tilaajan ja urakoitsijan välisessä sopimuksessa) määrittää urasyvytydet kapeammalta väliltä (esim. vain 15 laserin avulla). Näissä tapauksissa osapuolten on sovittava käytettävistä urasyvyysvaatimuksista.

Taulukossa 3.1 on esimerkki urasyvyyden luokittelusta. [Taulukossa 3.2 on vastaavat arvot suomalaisiin tutkimuksiin perustuen (Tielaitos, 2000). Nämä tulokset perustuvat vanhoihin ultraäänitekniikalla tehtyihin uramittauksiin, ei siis nykyisin käytössä olevaan tekniikkaan]

**Taulukko 3.1:** Urasyvyyden luokittelu tien käyttäjän näkökulmasta [RST Sweden, haastattelut ja kokemukset].

Maksimi urasyvyys(mm)	Kommentti
<2	Tuskin havaittavia uria.
2-5	Urat ovat havaittavissa esim. tienpinnan värin vaihteluna.
5-10	Urat selvästi havaittavissa. Kiviaineksen irtoamista saattaa esiintyä, jos uramuodostus johtuu nastarenkaiden käytöstä.
10-17	Tiellä nopeusrajoitus urien takia. Kiviaineksen irtoamista ja muita pintavaurioita.
>17	Tienpinta ylläpidon tarpeessa. Pintavauriot yleisiä, liikennöitävyys jossain määrin huonontunut.

**Taulukko 3.2:** Urasyvyyden luokittelu tien käyttäjän näkökulmasta [Tiehallinto, 2000].

Maksimi urasyvyys(mm)	Luokka	Kommentti
< 5	Erittäin hyvä	Tien pinta poikkisuunnassa tasainen, sivukaltevuus kunnossa. Tie urien suhteen lähes uutta vastaavassa kunnossa, värimuutokset ajouran kohdalla mahdollisia.
5 – 10	Hyvä	Tienkäyttäjä ei juurikaan huomaa uria. Urat eivät vaikuta ajolinjoihin, eivätkä ajonopeuksiin.
10 – 15	Tyydyttävä	Tiessä havaittavat urat. Sateisella kelillä vaikuttavat jossain määrin ajolinjojen valintaan ja ajonopeuksiin.
15 – 20	Huono	Tie selvästi urautunut. Urat vaikuttavat sateisella kelillä ajolinjojen valintaan ja ajonopeuksiin ja vesiliirron vaara kohtalainen.
20 –	Erittäin huono	Tie erittäin urainen. Urat vaikuttavat sekä ajolinjojen valintaan että ajonopeuksiin. Sateisella kelillä ajettaessa vesiliirron vaara suuri.



## 4 Sivukaltevuus

Sivukaltevuuden mittauksia on alun perin tehty käsitöinä, ensisijaisesti vaaitsemalla tienpintaa. Viime vuosina on käytetty myös elektronisia mittalaitteita ja yksinkertaisia, erityyppisillä kallistusantureilla varustettuja mittausajoneuvoja. Ruotsissa on mitattu sivukaltevuutta lasertekniikkaan perustuvalla mittausmekaniikalla vuodesta 1985 lähtien. Sivukaltevuus esitetään prosenteissa ja se kuvaa tienpinnan (tai ajokais-  
tan) poikkisuuntaista kaltevuutta.



Sivukaltevuuden rekisteröinnissä mittaus tehdään mittausauton kaltevuusantureilla ja laserkameroilla ajoneuvon sivukiihtyvyyttä kompensoiden. Koko mitattavan alueen sivukaltevuus lasketaan kahden mallin mukaisesti: pintasivukaltevuus ja regressiosivukaltevuus.

### Pintasivukaltevuus

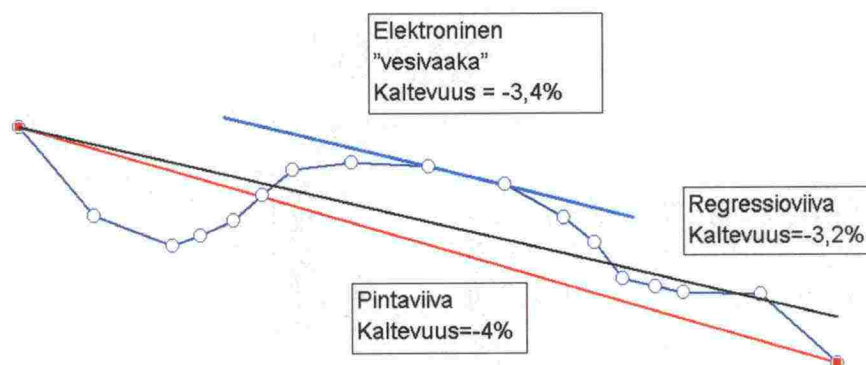
Mitataan ajoneuvon kallistus sekä tienpinnan ja mittauspalkin uloimpien laserkameroiden väliset etäisyydet. Arvoksi muodostuu valitun tulostusvälin (normaalisti 50/100 m) keskiarvo. [Suomessa tämä on määritelty laskettavaksi niin, että palkin kummassakin päässä käytetään kahden uloimman laserkameran arvoja].

### Regressiosivukaltevuus

Mallissa lasketaan kaltevuuslinja regressiolla ja pienimmän neliösumman menetelmällä käyttäen kaikkien laserkameroiden arvoja. Tulos täydennetään kallistusantureiden arvoilla. Myös tämä arvo lasketaan keskiarvona.

Molemmat sivukaltevuusarvot tallennetaan Tiehallinnon kuntotietorekisteriin.

Sivukaltevuus on helposti mitattavissa käsin yksittäisissä pisteissä. Tämä ei tarkoita sitä että laserkameroilla mitattu arvo olisi tällä tavalla löydettävissä, koska se on erityisellä mallilla laskettu keskiarvo. Kuvassa 4.1 on esitetty ero esim. siihen nähden että käytettäisiin elektronista ”vesivaakaa”:



**Kuva 4.1:** Sivukaltevuuden laskentamenetelmät

Sivukaltevuutta käytetään vanhojen päällysteiden veden poisjohtamiskyvyn arvioinnissa sekä uusien päällysteiden laadunvalvonnassa. Ruotsissa VU 94:n ohjeiden mukaan pienin sallittava sivukaltevuus on  $\pm 2,5$  %. Suomessa suositeltu sivukaltevuus päällystetyille teille on  $\pm 3$  %. Pienemmällä kaltevuudella veden poisjohtamiskyky on huono ja jyrkissä kaarteissa myös renkaiden pito on huonompi. Alla olevassa taulukossa 4.1 on esitetty ruotsalaisia sivukaltevuussuosituksia. Tien geometrian muutoskohdissa ja liittymissä voi sivukaltevuus luonnollisista syistä olla pienempi kuin  $2,5$  %. [Taulukossa 4.2 on esitetty vastaavia arvoja suomalaisista sivukaltevuussuosituksista, Tiehallinto]

**Taulukko 4.1:** Sivukaltevuussuosituksiset Ruotsissa

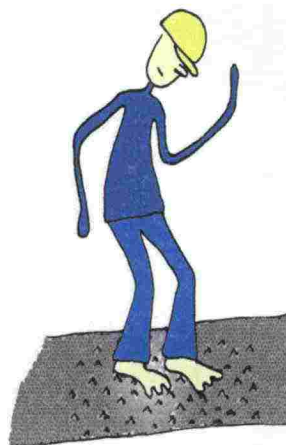
Sivukaltevuus (%)	Kommentti
$\pm 1.5$	Alin suositeltu sivukaltevuus
$\pm 2.5$	Suosittelut sivukaltevuus suorilla ja tasausviivan pyöristyskohdilla
$\pm 4.0$	Suosittelut sivukaltevuus (kallistus) kaarteissa, joiden säde on 150-700 metriä 50 km/h nopeusrajoitusalueella [VU 94]
$\pm 5.5$	Suurin suositeltu sivukaltevuus (kallistus) [VU 94]
$>7$	Sivukaltevuuden arvo, joka todennäköisesti johtuu ajoradan tai tien reunan muodonmuutoksesta.

**Taulukko 4.2:** Sivukaltevuussuosituksiset Suomessa

Sivukaltevuus (%)	Kommentti
$\pm 3.0$	Suosittelut sivukaltevuus suorilla ja tasausviivan pyöristyskohdilla (voidaan tulkita myös minimiarvoksi)
$\pm 3.0 - 4.0$	Suosittelut kaksipuolinen sivukaltevuus kaarteissa, joiden säde on 400 - 1300 metriä 50 km/h nopeusrajoitusalueella (pääväylät kaupungeissa)
$\pm 3.0 - 5.0$	Suosittelut yksipuolinen sivukaltevuus (kallistus) kaarteissa, joiden säde on 85 - 160 metriä 50 km/h nopeusrajoitusalueella (pääväylät kaupungeissa)
$\pm 5.0 - 7.0$	Suurin suositeltu sivukaltevuus (kallistus), riippuen väylän luokasta
$>7$	Sivukaltevuuden arvo, joka todennäköisesti johtuu ajoradan tai tien reunan muodonmuutoksesta.

## 5 Päällysteen karkeus

Asfalttipäällysteet ovat harvoin täysin homogeenisia; niiden rakenne vaihtelee usein sekä pituus- että poikisuunnassa. Suuret tämäntyyppiset vaihtelut saattavat aiheuttaa päällysteen pinnan laadun heikkenemistä, mikä vuorostaan johtaa siihen että liikenneturvallisuus huononee ja että ylläpitotarve aikaistuu. Osiltaan päällystemateriaalin vaihtelut voidaan huomata tutkimalla tienpinnan **karkeutta**. Mikrokarkeus kuvaa kivimateriaalin pintakarkeutta (0,001 – 0,5 mm) eikä sitä havaita paljaalla silmällä. Makrokarkeus kuvaa



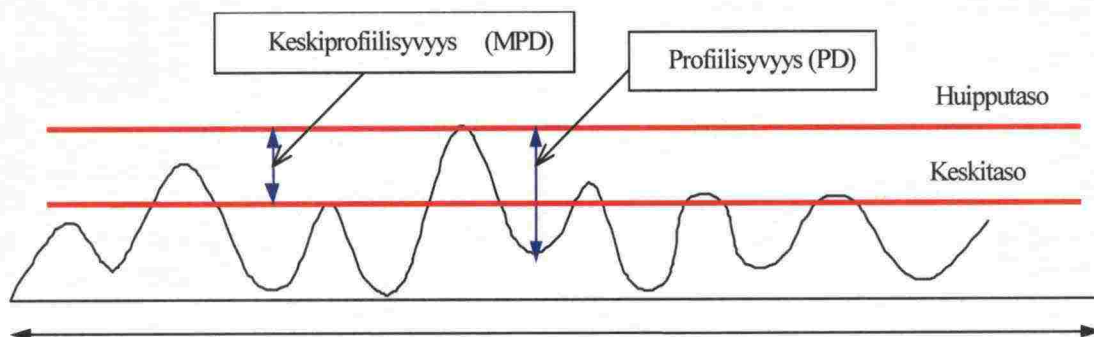


itse päällysteen karkeuden, mihin myös lasketaan kivien väliset tilat. Makrokarkeuden on pääasiallisesti tarjottava tyydyttävää kitkaa ja varmistettava hyvä veden poisjohtuminen. Megakarkeus on puolestaan pintakarkeutta aallonpituusalueella 0,1 – 0,5 m.

Tien karkeutta voidaan mitata perinteisillä menetelmillä käsin, kuten esim. *sandpatch-menetelmällä*, tai esimerkiksi Laser-RST-tekniikkaa hyödyntämällä. Jälkimmäinen menetelmä laskee eri RMS-arvoja lyhyille aallonpituuksille (epätasaisuuksille). Alla on kuvattu muutama tavallisin karkeusmitta. [Näitä tunnuslukuja ei tällä hetkellä mitata Suomessa]

### MPD (Mean Profile Depth)

MPD on kaksiulotteinen mitta ja lasketaan alueelta joka vastaa autonrenkaan ja tienpinnan kosketusala. MPD vastaa keskimääräistä profiilisyvyyttä tietyllä välillä ja sen on ajateltu kuvaavan keskimääräistä makrokarkeutta yhdessä profiilin syvyyden (Profile Depth, PD) kanssa:



**Kuva 5.1:** Pituusprofiilin syvyysmitat MPD ja PD

ISO/DIS 134373-1 suosittelee MPD:n käyttöön ottoa. On kuitenkin tilanteita, jolloin on perusteltua käyttää muita karkeusmittoja, kuten esim. ETD (Estimated Texture Depth) ja MTD (Mean Texture Depth). Nämä ovat kolmiulotteisia tilavuusmittoja, jotka kuvaavat tietyn pinnan karkeussyvyyttä – ks. *sand patch*-menetelmän kuvaus alla.

### MTD (Mean Texture Depth) ja ETD (Estimated Texture Depth)

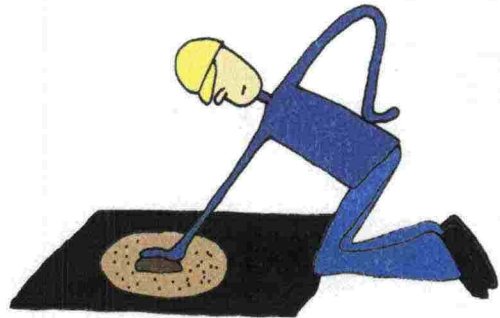
MTD voidaan arvioida esim. *sand patch*-menetelmällä. Menetelmä on käsin suoritettava kenttämenetelmä, missä tienpinnan karkeudesta johtuvat pienet epätasaisuudet täytetään hiekalla. Hiekka, jolla on tarkoin määritelty raekoko (0,15 – 0,3 mm), levitetään ympyrämuotoiseen pintaan, minkä jälkeen hiekkamenekki ja ympyrän pinta-ala mitataan. Keskikarkeussyvyys lasketaan jakamalla mitattu hiekan tilavuus mitatulla pinta-alalla [Alm, 1979].



MTD voidaan muuntaa karkeussyvyudeksi (**ETD**, Estimated Texture Depth) kaavalla:

$$ETD = 0,2 + 0,8 * MPD$$

Näin on mahdollista muuntaa MPD tilavuuden perusteella määritetyiksi *sand patch*-arvoiksi ja päinvastoin. *Sand patch*:in lisäksi vastaavanlaisia tilavuusmittoihin perustuvia menetelmiä voidaan toteuttaa muilla materiaaleilla kuten esim. rasvalla tai kitillä [Alm, 1979].



### Kitka ja karkeus

On olemassa selvä yhteys tienpinnan kitkan ja karkeuden välillä. Mittaamalla kitka perinteisillä menetelmillä osalla kohdetta ja vertaamalla näin saatua kitkaa saman kohdan MPD-mittauksen tuloksiin voidaan selvittää näiden kahden mitan keskinäinen suhde. Jos MPD-mittaus sitten suoritetaan koko mitattavalla osuudella, voidaan tutkia kitkan vaihtelua pituus- ja poikkisuunnassa.

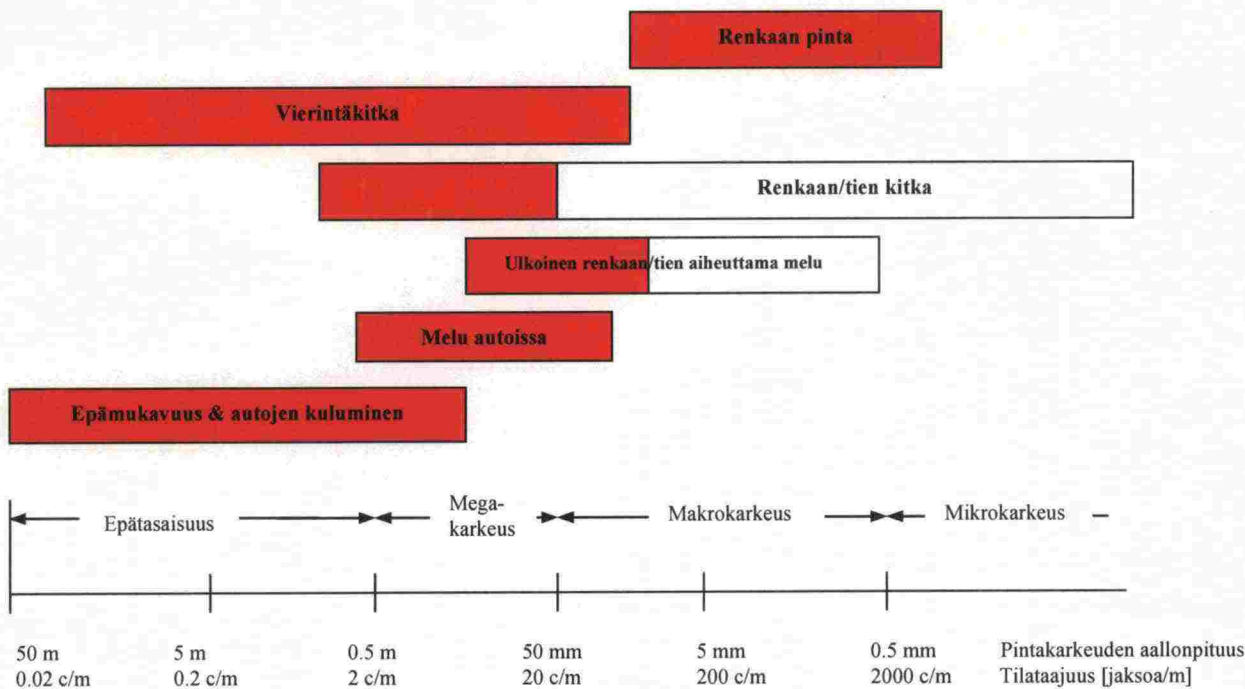
Kitkamekanismin päätyyppejä renkaan ja tien pinnan välissä on kaksi:

- ✓ **Adheesio:** sitoo läheisessä yhteydessä olevat renkaan ja tien pinnan molekyylit. Roskat, lika tai vesi voi helposti erottaa nämä siteet. Kyseessä on siis tarttumis-irtoamis-ilmiö.
- ✓ **Hystereesi-ilmiö:** kumin kyky varastoida elastista energiaa. Kun renkaaseen kohdistuu muotoa muuttava ulkoinen paine, ulkoisen paineen poistuessa kappale ei palaudu kokonaan alkuperäiseen muotoonsa. Energiaa kuluu, koska renkaan kumi ei kosketa paikallisesti tien pintaa, sen peittäessä tien pinnan makrokarkeutta.

Pintakarkeus voidaan jakaa mega-, makro- ja mikrokarkeuteen, perustuen epätasaisuuden aallonpituuksiin (ks. kuva 5.2). Adheesio on erittäin herkkää mikrokarkeudelle, mutta ei juurikaan herkkää makrokarkeudelle. Hystereesi-ilmiöön liittyvän kitkan osalta tilanne on täysin käänteinen. Sekä mikro- että makrokarkeus vaikuttavat kitkaan positiivisesti, eli siis suurempi pintakarkeus merkitsee suurempaa kitkaa. Kuivalla tiellä adheesio aiheuttama kitkavaikutus on suurempi, kun taas märällä tiellä sekä mikro- että makrokarkeus ovat tärkeitä. Megakarkeudella on samanlainen vaikutus kuin makrokarkeudella, mutta voi estää renkaita saamasta täyttä kontaktia tien pintaan, ja siksi vähentää adheesio (mikrokarkeuden) vaikutusta

Kitkan parantamiseksi pintakarkeuden pitäisi olla seuraavanlainen:

- ✓ mikrokarkeuden tulisi olla niin suuri kuin mahdollista, jotta adheesio lisääntyisi
- ✓ makrokarkeuden tulisi olla niin suuri kuin mahdollista, jotta lisätään hystereesi-ilmiön kitkaa ja parannetaan veden poistumista päällysteeltä
- ✓ megakarkeuden tulisi olla niin pieni kuin mahdollista, jotta vältetään kuoppien aiheuttama kontaktin menetystä renkaan ja tienpinnan välillä



**Kuva 5.2:** Tien profiili jaettuna erilaisiin aallonpituuksiin ja niiden vaikutus tien käyttäjään ja ympäristöön (tummempi väri indikoi epäsuotuisaa vaikutusta, kun taas vaalea väri indikoi suotuisaa vaikutusta). Lähde: ISO/DIS 13473-1 (1995).

---

**Viitteet**

**Alm, 1979** – ”Mätning av beläggningars makrotextur för friktionsbedömning: Principer och mätmetoder” Statens Väg- och Trafikinstitut, Rapport nr 163, 1979

**Dahlstedt, 2001** – ”Bedömd vägojämnheter på vägar med låga IRI-värden” VTI notat 474-2001

**Sayers et al, 1986-1** – Sayers, Gillespie, Querioz, ”Establishing correlation and a calibration standard for measurements” The International Road Roughness Experiment, World Bank technical paper no 45, The World Bank, Washington DC, 1986

**Sayers et al, 1986-2** – Sayers, Gillespie, Paterson, ”Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements” World Bank technical paper no 45, The World Bank, Washington DC, 1986

**Gillespie, 1992** – ”Everything you always wanted to know about the IRI but were afraid to ask!”, Road Profile Users Group 1992, Nebraska

**Scandiaconsult, 2001** - ”Åtgärder och ojämnheter” Scandiaconsult Sverige AB, RST Sweden, 2001

**Tiehallinto, 2001** – Tieverkon kuntoluokitus, raporttiluonnos. Tiehallinto ja Inframan Oy.

**Tielaitos, 1992** – Päällystettyjen teiden pintakunnon luokittelu. Tielaitoksen selvityksiä 36/1992, Helsinki 1992.

**Öberg, 2001** – ”Statliga belagda vägar. Tillståndet på vägytan och i vägkroppen, effekter och kostnader” VTI notat 44-2001

**Sandberg Ulf, 1997** – ”Influence of Road Surface Texture on Traffic Characteristics Related to Environment, Economy and Safety – A State-of-the-Art Study Regarding Measures and Measurement Methods”, VTI notat 53A-1997, Swedish National Road and Transport Research Institute, 1997.

**Ohjeet ja säännökset**

*Allmän Teknisk Beskrivning Väg (ATB VÄG)*

*Vägutformning 94 (VU 94)*

*Vägverkets metodbeskrivning VVMB:111*

*PANK 5207 Pituussuuntainen tasaisuus (luonnos)*

*PANK 5208 Poikkisuuntainen tasaisuus (luonnos)*

*PANK 5209 Sivukaltevuus ja muu geometria (luonnos)*

*ISO/DIS 13473-1* – ”Characterization of pavement texture utilizing surface profiles- Part 1: Determination of mean profile depth”, Draft International Standard, International Organization for Standardization, 1995



ISBN 951-803-120-7

Verkkoversio (<http://www.tiehallinto.fi/julkaisut>)pdf

ISBN 951-803-121-5